

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：10102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25885004

研究課題名(和文) エネルギー概念の系統的な理解を促す中学校理科カリキュラムの開発

研究課題名(英文) Curriculum Development of Junior High School Science to Promote Systematic understanding of Concept of Energy

研究代表者

森 健一郎 (Mori, Kenichiro)

北海道教育大学・教育学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70710755

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 800,000円

研究成果の概要(和文)： 中学校学習指導要領では、理科の学習内容を「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」といった概念で再構成することが示されている。これらのうち「エネルギー」については、抽象性が高く理解に困難が生じることが予想される。そこで国内の教科書での「エネルギー」の使用状況を調査し、考察したところ、「エネルギーを取り出す」、「エネルギーをもっている」といった表現を理解させるための学習プランが第1学年から必要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this research is to compare all textbooks currently used in Japan for junior high school science, and to investigate how the term “energy” is used. More specifically, the aim is to investigate what course units “energy” is covered in, at what frequency, and in what sort of expressions. In junior high school science, it has previously been thought that the term “energy” is used primarily for learning in the fields of physics and chemistry, but this study found that the term is frequently used for learning in the fields of biology.

The main expressions used in common in various units were found to be: “extract energy” and “consume energy.” In other words, if a lesson plan is created to develop understanding of the expressions “extract energy” and “consume energy,” then it should be possible to understand the content of each unit by relating the content of different units using the concept of energy.

研究分野：理科教育学

キーワード：エネルギー 概念 中学校理科 教科書

1. 研究開始当初の背景

平成 24 年度から施行された『中学校学習指導要領(理科)』(以下、学習指導要領と略)では、科学的な概念の理解など基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から、単元という学習内容の区分とは別に、「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」などの科学の基本的な概念を柱として、小・中・高等学校を通じた内容の再構成を図るという方向が示されている(文部科学省, 2008)。したがって、今後の教育現場では、基本的な概念によって各単元を横断的に扱い、単元相互の関連性を意識させるための学習カリキュラムを立案していくことが要請されているといえる。

平成 24 年度から施行されている学習指導要領で示された「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」という基本的な概念の中でも、特に「エネルギー」に関しては、日常的に広く用いられている一般的な語句ではあるものの、概念の抽象性が高いため、生徒にとってはその正確な定義を理解することが難しい用語である。原口ら(2007)もエネルギー概念が科学において非常に重要で基礎となる用語であるにもかかわらず、中学生・高校生にとって理解することが困難であることを指摘している。

こういった状況をふまえると、森(2009)が指摘するように、個々の生徒が、第3学年になるまで「エネルギー」に関しての定義を学ばないまま、「エネルギー」の語句を用いた学習が進められている実態が浮かび上がってくる。この点については、日本の中学生のエネルギーについての理解度が低いことの要因のひとつとして、岡本(2005)によって指摘されている。

これまでもエネルギー概念によって、各単元を横断的に扱うことに関しては、福山ら(2010)などによって提案がなされている。これらの研究は、単元相互の関連性を意識させるための学習カリキュラムを立案していく上で非常に参考になるものである。橋本ら(2010)も、「一見ばらばらで関係がないような事象でも、エネルギーの変換として捉えれば相互に関係を付けられることができるという点」を「エネルギー概念の重要性」として述べている。

2. 研究の目的

このような背景のもと、さらに実践的な資料を提供する意味で、「エネルギー」の語句が学校現場で使用されている教科書の中で、どの単元でどのくらいの頻度で記載されているか、また、どのような表現と共に用いられているかについての調査・研究を行うことは有益であると思われる。この点がこの研究に取り組んだ問題意識である。

3. 研究の方法

まず、理科教科書で扱われている「エネ

ギー」の語句に関する調査・研究が報告されているか否かについて先行研究を調査した。石原(1996)は、科学と環境教育の接点という視点から「エネルギー」の語句に注目し、日本とアメリカの中学校理科教科書の比較をおこない、日本の教科書のエネルギー概念が科学性に乏しいことを指摘した。劉ら(2005)は、エネルギー教育の観点から、日本で最も多く採択されている第1分野(物理・化学分野)の教科書と中国の浙江省で用いられている教科書(1社)を比較検討し、両国のエネルギー教育の内容に関する共通点と相違点を明らかにした。金子ら(2005)は、旧学習指導要領に基づいて編集された中学校理科教科書(5社)について比較検討をおこない、すべての単元について評価できる点と考慮すべき点を指摘し、特に「いろいろなエネルギー」単元については、各教科書の題材の配列順、扱うエネルギーの種類、単位J(ジュール)の記述の有無、扱われているページ数などに関する比較検討をおこなった。板橋(2012)は、アメリカの教科書と教師用指導書を事例に、エネルギー概念が小学校段階でどのように導入されているのかを分析し、アメリカでは児童が直感的に理解できる光、熱、音などを題材としたエネルギー概念および定義が低学年から導入され、さらにそれが繰り返し取り扱われていることを指摘した。その他、1986年から2007年までの『日本科学教育学会研究会研究報告』、1977年以降の『科学教育研究』、2009年以降の『エネルギー環境教育研究』、1999年以降の『理科教育学研究』、2003年以降の『日本教科教育学会誌』を調査したが、筆者が管見する限り、「エネルギー」の語句が、学校現場で使用されている教科書の中で、どの単元でどのくらいの頻度で記載されているか、また、どのような表現と共に用いられているかについての調査・研究はなされていない。

そこで、本研究では、まず学習指導要領に基づいて編集されたすべての教科書を比較検討し、「エネルギー」という語句がどのような単元で、どのくらいの頻度で、かつまた、どのような表現の中で使用されているかについての調査をおこなうこととする。そして、その傾向を明らかにした上で、いくつかの単元にわたって共通して用いられている表現を抽出する。共通して用いられている表現を明らかにすることで、単元横断的な視点、すなわち、内容の再構成を図る視点が提供できると考える。

本研究では、平成 24 年度から中学校で使用されているすべての教科書(5社 15冊。平成 24 年度から学年分冊となるため出版社ごとに各 3 冊の教科書となる)において、「エネルギー」という語句を含んだ文章が、どのような単元で、どのくらいの頻度で使用されているかを使用事例と共にすべて抜き出し分析対象とした。ここで言うところの文章とは、句点までの文字のまとまりのことである。

4. 研究成果

いくつもの単元にわたって共通して用いられている表現がどんなものであるかを明らかにするため、表現の類型ごとに、単元の枠を取り払い、使用頻度のみに着目してまとめた。その結果、「エネルギーをとり出す、または取り出す」および「エネルギーを消費する、または使う」という表現が、いくつかの単元で横断的に使用されていることがわかった。この点に着目してさらに分析と検討を進めた結果、各学年の指導内容について得られた示唆は次の通りである。

(1) 第1学年に関して

「エネルギー」の語句が登場するのは【植物の生活と種類】と【大地の成り立ちと変化】である。

通常であれば、第2分野の学習は、【植物の生活と種類】から開始される。つまり、中学校の理科学習で、「エネルギー」という語句に最初に触れるのが、【植物の生活と種類】となっている。ここでは、「エネルギーをとり出す、または取り出す」という表現は登場していないが、光合成に関わる内容（デンプンの合成）で、「光エネルギー、または光のエネルギー」を「消費する、または使う」という表現が見られる。この「消費する、または使う」である。これらの表現によって、エネルギーを物質として捉えてしまうことが危惧される。エネルギーは変換されるだけでなく、なくなるわけではないため、物質ではない「エネルギー」を「消費する、または使う」ことが、どのようなことであるのかのイメージをもたせることが重要と考える。

この点については、森(2009)が、「光合成」とエネルギー概念を結びつけた学習プランを開発・実践し、「エネルギーが物質ではないこと」を第1学年の生徒に理解させることに一定の効果をあげている。

【大地の成り立ちと変化】で記載されている「エネルギー」という語句は、地震の規模（マグニチュード）との関連で、大きさのあるものとして記述されている。『中学校学習指導要領解説理科編』（以下、学習指導要領解説と略）の【大地の成り立ちと変化】の内容解説「地球内部の働き」の部分では、「地球内部のエネルギー」との記述が見られ、巨視的な観点から記述されていることがわかる。したがってこの単元においては、「エネルギー」の定義を学んでいない時期であることを考慮しつつ、「物質ではないが、その大きさが変化するものであり」かつ「その大きさは非常に大きいこと」に気づかせることが重要であると考えられる。

なお、第1学年のすべての教科書の索引を参照したところ、「エネルギー」の項目はどの教科書にも記載されていなかった。したがって第1学年の段階では、「エネルギー」の語句は、理科用語としてではなく一般的な語彙として用いられていることがうかがえる。

(2) 第2学年に関して

第2学年では、一部の教科書で例外はあるものの、すべての単元で「エネルギー」の語句が用いられている。第1学年と第3学年には一度も「エネルギー」の語句が用いられない単元があることを考慮すると、第2学年で学習する内容には、単元相互の関連性を意識させるための視点が多数含まれているといえる。教科書によって「エネルギー」の語句の頻度や内容には違いがあるが、すべての教科書に共通している点は、【電流とその利用】において、「電気エネルギー、または電気のエネルギー」を「消費する、または使う」という表現が見られる点と、【動物の生活と生物の変遷】で「エネルギーをとり出す、または取り出す」という表現が用いられている点である。以下、「消費する、または使う」および「エネルギーをとり出す、または取り出す」という表現と、各単元の学習内容との関わりについての考察を述べる。

【電流とその利用】に関して

この単元において、「エネルギー」という語句は、「電気エネルギー、または電気のエネルギー」を「消費する、または使う」というかたちで用いられている。また、電流による発熱では「熱エネルギー」という表現も用いられている。いずれにしても、これらの記述はエネルギー変換を背景としている。「消費する、または使う」という表現については、【植物の生活と種類】での扱いと同様に、物質的な捉え方をしてしまうことが危惧される。エネルギー変換を扱うのは第3学年の【運動とエネルギー】であるが、この単元においてもエネルギー変換の例をいくつか取り上げ、物質ではない「エネルギー」を「消費する、または使う」とことの理解を促したい。これについては、栢野ら(2009)が、第3学年を対象に、10種類のエネルギー変換の実例を1単位時間内に一挙に体験させて、実感を伴った理解を促す授業プランを開発・実践し、その効果を確認している。この授業プランは第3学年対象であるが、第2学年に実践しても、物質ではない「エネルギー」を「消費する、または使う」とことの理解を促すことが可能と考える。

なお、この単元では電池を扱うが、電池については、小池ら(2003)が「電池が単に“電流をとり出す(取り出す)ための装置”として扱われ、エネルギー概念と結びつけた指導がなされていない」という指摘をしている。したがって、エネルギー変換の例として化学電池のしくみ(化学エネルギーから電気エネルギーへの変換)を取り上げることにも検討されてよい。ただし、電池のしくみには金属のイオン化傾向の知識も関係してくるため、第2学年を対象とした実践は現段階では見られない。今後の研究が必要な分野であると考えられる。

【化学変化と原子・分子】に関して

この単元については、「エネルギー」の語句を用いないで記述している教科書が1社（A社）あり、残りの4社（B, C, D, E社）についても扱いの頻度や内容に大きな違いが見られる。

B社は「エネルギーの変換, または移り変わり」, 「エネルギーを得る」, 「光エネルギー, または光のエネルギー」, 「化学エネルギー」, 「生命を維持するためのエネルギー」など, それぞれの頻度は1回か程度であるが, さまざまな表現を用いている。C社は「もっているエネルギー」という表現の頻度が8回と非常に高く, その他「光エネルギー, または光のエネルギー」, 「化学エネルギー」, 「生命を維持するためのエネルギー」などの表現が1回ずつ見られる。D社は「エネルギーの変換, または移り変わり」という表現を4回使ったのみで他の表現は用いていない。E社は「エネルギーをとり出す, または取り出す」という表現を1回使用しているだけである。

以上のように, 出版社ごとに扱う表現に違いがあり, 共通している部分は少ない。学習指導要領解説の【化学変化と原子・分子】の内容解説を見てみると, 「化学変化と熱」に関する部分で「有機物を燃焼し発生させた熱のエネルギーは調理や暖房などに利用されていることを理解させる(下線は筆者による)」という記述が見られる。したがって, この単元では, 各出版社で用いられている表現を熱との関わりで扱うことが適切であると考えられる。これについては, 森(2011)が, 第1学年を対象に, 有機物から発生する熱エネルギーと光合成に必要な光エネルギーとを関連づけることを目的とした学習プランを開発・実践し, 一定の効果をj確認している。

【動物の生活と生物の変遷】に関して

この単元は, 第2分野ではあるものの, 「エネルギー」の語句の使用頻度が第2学年の中でもっとも多い。したがって, 「エネルギー」によって各単元の関連性を意識させるための内容が多く含まれた単元であるといえる。

単元中, 最も「エネルギー」という語句の使用頻度が高いのは「呼吸」に関わる部分である。例えば, 「エネルギーをとり出す, または取り出す」という表現はすべての教科書に見られ, かつ4社では使用頻度も高い。また, 「エネルギーを消費する, または使う」という表現も4社で見られる。これらの表現は, 「呼吸」の中でも特に「内呼吸」に関わる部分の記述である。この部分については, 森(2012)が, 第2学年を対象に, 「呼吸」によって「生命活動のエネルギー」を得る過程をモデル化した学習プランを開発・実践し, 一定の効果をj確認している。

【気象とその変化】に関して

この単元において, 「エネルギー」という語句は, すべての教科書において「太陽のエ

ネルギー」というかたちで, 「雨, 雪などの降水現象に関連させた水の循環」の説明をするために用いられている。したがって, この単元における「エネルギー」という語句は, 力学的な意味で扱われているものではなく, さまざまな気象現象の原因として巨視的に記述されているものである。「太陽のエネルギー」という表現は【植物の生活と種類】の「光合成」においても用いられているので, それらの内容に触れながら学習を進めることにより, 単元の再構成の趣旨を生かすことができるjと考える。

(3) 第3学年に関して

【生命の連続性】では「エネルギー」の語句がどの教科書においても使用されていない。そのため, 「エネルギー」の語句が使用されていた第1分野の【化学変化とイオン】と, 第2分野の【生命の連続性】と【地球と宇宙】を調査対象とした。調査結果から得られる示唆は次の通りである。

【化学変化とイオン】に関して

この単元においては, 化学電池のしくみの説明で「電気エネルギーをとり出す, または取り出す」などの表現がすべての教科書に見られる。ここで用いられている「とり出す」または「取り出す」という表現は, 2学年で学習する【動物の生活と生物の変遷】で扱う「呼吸」の説明における例と同様である。化学電池については, 前述のように小池ら(2003)によって, 「エネルギー概念と結びつけた指導がなされていない」という指摘がされている。加えて, 学習指導要領解説においても, 化学電池に関する内容は「粒子」に区分されている。したがって, 今後, この単元の学習に際しては, 「エネルギーをとり出す, または取り出す」ことの意味を化学電池のしくみと関わらせながら学習することが求められる。電池をエネルギー変換の視点から扱っている研究については, 島田ら(2007)がボルタ電池を教材としたものを発表している。この研究では, ボルタ電池の最適な作動条件を調べることで, 対象生徒(第3学年)の科学的思考力を高めることに一定の効果がj見られたことが報告されている。しかし, 現在のところ, エネルギー概念やその変容に着目した上で化学電池のしくみを取り上げている実践や研究の報告は見られない。「エネルギーをとり出す, または取り出す」ことの意味と関連づけた学習プランの開発が求められる。

【地球と宇宙】に関して

4社の教科書において, 「太陽のエネルギー」という表現がj見られた。ここで用いられている表現は, 第2学年で学習する【気象とその変化】中の「水の循環」と同様に, 巨視的に記述されている。この「太陽のエネルギー」という表現は【植物の生活と種類】で扱

われた「光合成」においても用いられているため、それらの内容に触れながら学習を進めることで単元の再構成の趣旨を生かすことができると思う。

【自然環境の保全と科学技術の応用】に関して

この単元は、第1分野に関する部分(科学技術の応用)と第2分野に関する部分(自然環境の保全)に分けられる単元である。

第1分野に関する部分においては、どの教科書も「エネルギー」を「エネルギー資源」という意味で使用している。「エネルギー資源」という意味で扱う場合、それまでの単元で学習してきた「エネルギー」とは違う文脈で「エネルギー」が用いられることになるため、学習する際は、「エネルギー」(物質ではないもの)と「エネルギー資源」(石油などの物質であるもの)の区別について扱っておくことが望ましいが、これについては、扱っている教科書とそうでない教科書がある。

第2分野に関する部分においては、すべての教科書で、食物連鎖による物質の循環に関する内容で「エネルギー」という語句が用いられている。例えばB社の教科書には、「太陽の光がもっていたエネルギーが動物のからだに移動する」という記述が見られる。「太陽の光」という記述は、1学年で学習した【植物の生活と種類】中の「光合成」と関連している。そして「もっていたエネルギー」という記述は、2学年で学習した【化学変化と原子・分子】で扱う「有機物などの物質がもつエネルギー」と関連している。「光合成」と「有機物」との関連については、前述の森(2011)の実践が有効であると思う。

また、3社(A,B,C社)の教科書には、分解者に関する部分で「とり入れた有機物は(中略)生活に必要なエネルギーをとり出すための呼吸にも使われる(C社)」といった記述が見られる。「有機物」という記述は、第1学年の【身の回りの物質】や第2学年の【化学変化と原子・分子】と関連している。そして「エネルギーをとり出す」という記述は、第2学年で学習する【動物の生活と生物の変遷】の「呼吸」に関わる説明で多く見られた。「呼吸」の部分では、「有機物である養分は、分解されると二酸化炭素や水を生じ、エネルギーが取り出される(E社)」といった記述が見られるが、「分解されると(中略)エネルギーが取り出される」という記述は、生徒実験などによって再現することが難しいことから、分解者と「エネルギー」とを関連づけて理解することも困難であると考えられる。この点に着目した学習プランは現在のところ見られないため、分解者と「エネルギー」とを関連づけて理解させるための学習プランの開発が望まれる。

(4) 結論

中学校理科の3年間の学習プランを「エネ

ルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」の4つの基本概念で論じる際、「エネルギー」は、第1分野との関わりで論じられることがほとんどである。しかし、「エネルギー」の語句は、本稿で述べてきたように第1分野だけではなく、第2分野においても、単元によっては非常に高い頻度で用いられている語句であることが明らかとなった。

また、「エネルギー」の定義を学習するのは第3学年であるが、第1学年から「エネルギー」の語句が用いられており、特に第2学年において頻度が高いこと。したがって第1学年からその概念(物質ではないなど)について扱っていく必要がある。

そして、「エネルギー」の語句と共によく用いられる表現は、「とり出す、または取り出す」、「消費する、または使う」などであることが明らかとなった。これらの表現は、特定の単元ではなく、いろいろな単元で共通に用いられている。そして、中学校だけではなく小学校の教科書においても、頻度は高くないが同様の傾向が見られる。そのため、各単元の中で、これらの表現の意味について扱っていくことで、学習指導要領で示された「基本的な概念を意識した系統的な指導」が達成されるものと思う。

本研究で調査した中学校の理科教科書は次の5種類(それぞれ学年分冊のため計15冊)である。

教育出版(2011)「自然の探求 中学校理科」
東京書籍(2011)「新しい科学」
啓林館(2011)「未来へひろがるサイエンス」
大日本図書(2011)「理科の世界」
学校図書(2011)「中学校科学」

<参考文献>

有馬朗人ほか:たのしい理科6年-1,41,大日本図書,2011。

有馬朗人ほか:たのしい理科6年-2,80,大日本図書,2011。

福山隆雄,作野達哉,渡邊重義:エネルギーを主軸とした理科学習カリキュラムの系統化:光電池を用いて,愛媛大学教育学部紀要,57,101-111,2010。

原口博之,熊野善介:エネルギーの科学的概念の分類に関する研究-エネルギーの概念の歴史とアメリカのエネルギー教育の分析から-,エネルギー環境教育研究,2(1),53-58,2007。

橋本健夫,川上昭吾,鶴岡義彦:現代理科教育改革の特色とその具現化,61,東洋館出版社,2010。

林康久,小池守,高見澤一男,高津戸秀,:直接体験を通して酸化還元反応を学習することを目指した授業事例-電池教材を中核として-,科学教育研究,27(3),2003。

日高敏隆,霜田光一ほか:みんなと学ぶ小学校理科6年,147,学校図書,2011。

石原淳子:日米中学校理科教科書から見た,

理科における環境教育，日本科学教育学会研究会研究報告，10(6)，21-25，1996。

板橋夏樹，大高泉：米国小学校におけるエネルギー概念の導入に関する研究～米国の小学校理科教科書，教師用指導書を事例として～，理科教育学研究，52(3)，11-21，2012。

金子之史，森征洋，松村雅文，末廣喜代一，高橋尚志ほか：中学校理科教科書の比較検討(その2) - 新教科書の比較 - ，香川大学教育実践総合研究，10，99-110，2005。

栢野彰秀：いろいろなエネルギーを実感をもって理解させる中学校理科実験教材の開発 - 「屋台方式」による実験授業を通して - ，エネルギー環境教育研究，3(2)，11-18，2009。

文部科学省：小学校学習指導要領解説理科編，大日本図書，2008

文部科学省：中学校学習指導要領解説理科編，大日本図書，2008

森健一郎：エネルギーの概念で光合成のしくみをとらえる授業プランの提案 - 中学校「植物の生活と種類」における授業実践 - ，エネルギー環境教育研究，3(2)，29-34，2009。

森健一郎：有機物をエネルギー概念と結びつける授業実践 - 中学校「植物の生活」と「身のまわりの物質」に関わる内容を題材に - ，エネルギー環境教育研究，5(2)，99-107，2011。

森健一郎：エネルギーの概念で呼吸のしくみをとらえる授業プランの提案 - 中学校「動物の生活と種類」における授業実践 - ，エネルギー環境教育研究，6(2)，49-56，2012。

岡本正志：エネルギー教育の問題点：日本，中国，イランの比較調査から(科学教育各論(2))，科学教育学会年会論文集，29，531-532，2005。

劉継和，田中実：中日における中学校理科カリキュラムの比較研究 - エネルギー教育の視点から - ，日本理科教育学会北海道支部会誌，17，17-20，2005

島田秀昭，松岡信清：中学校理科における実験教材としてのボルタ電池に関する研究 - 適切な起電力を得るための実験条件 - ，熊本大学教育学部紀要自然科学，56，43-46，2007。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

森健一郎，中学校理科教科書における「エネルギー」に関する表現の分析，北海道教育大学紀要(教育科学編)，65，1，63-71，2014〔査読なし〕

Kenichiro MORI (掲載決定，印刷中)，Understading Junior High School Stidents' Perceptions of Scientific Concepts Through Image Mapping Tests，Proceedings of The Fifth Pacific Rim Conference on Education，2015〔査読あり〕

[学会発表](計2件)

Kenichiro MORI, Understading Junior High School Stidents' Perceptions of Scientific Concepts Through Image Mapping Tests, The Fifth Pacific Rim Conferrence on Education, University of Taipei, Taipei, Taiwan, 2014・11

森健一郎，中学校理科教科書における「エネルギー」に関する表現の分析，日本教科教育学会第40回全国大会，兵庫教育大学サテライトキャンパス，2014・10

6. 研究組織

(1)研究代表者

森 健一郎(MORI, Kenichiro)

北海道教育大学・教職大学院・准教授

研究者番号：70710755

(2)研究協力者

栢野 彰秀(KAYANO, Akihide)

島根大学・教育学部・教授